

DMG
Deutsche Meteorologische Gesellschaft

1999
Stellungnahme der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft (DMG) zu den Grundlagen des Treibhauseffektes

Es liegen viele Indizien für eine anthropogene Erwärmung des Klimas vor, die im Zusammenhang mit Rückkopplungsprozessen im komplexen Klimasystem kontrovers diskutiert werden. Zum besseren Verständnis dieser Prozesse, hat die DMG unter Mitwirkung von Strahlungsfachleuten, die wissenschaftlichen Zusammenhänge von Strahlungsflüssen in der Atmosphäre unter dem Aspekt des Klimawandels zusammengestellt.

VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

Stellungnahme der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft zu den Grundlagen des Treibhauseffektes (veröffentlicht 1999)

Die Basis des anthropogenen Treibhauseffektes:

Veränderte Strahlungsflüsse in der Atmosphäre

Vorbemerkung: Der Text dieser Stellungnahme wurde von Herrn Prof. Dr. H. Fischer (Karlsruhe) unter Mitwirkung anderer Strahlungsfachleute (insbesondere Prof. Dr. H. Graßl, Genf; Prof. Dr. H. Quenzel und Dr. P. Köpke, München) der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft erarbeitet.

Es ist unstrittig, daß der anthropogene Treibhauseffekt noch nicht unzweifelhaft nachgewiesen werden konnte. Allerdings liegt bereits eine Reihe von Indizien für eine anthropogene Erwärmung vor. Nach wie vor gibt es jedoch Diskussionen über verschiedene Rückkopplungsprozesse im komplexen Klimasystem. Da in letzter Zeit mehrere Publikationen von sogenannten Klimakritikern in Zeitungen und als Bücher erschienen sind, die sogar die Änderungen des Strahlungshaushaltes des Systems Erde/Atmosphäre anzweifeln, wurde die folgende Stellungnahme verfaßt. Es soll erläutert werden, wie sich aufgrund der Konzentrationszunahmen der klimarelevanten Spurengase die Flüsse elektromagnetischer Strahlung in der Atmosphäre verändern und als Folge eine Erwärmung der Troposphäre eintreten muß, wenn vorausgesetzt wird, daß dadurch keine anderweitigen Änderungen bei physikalischen (insbesondere dynamischen) und chemischen Prozessen im System Erde/Atmosphäre verursacht werden. Unter diesen idealisierten Bedingungen ist der anthropogene, zusätzliche Treibhauseffekt unvermeidlich.

Als Ausgangspunkt wird zunächst der Strahlungshaushalt der Erde ohne Atmosphäre beschrieben. In diesem Fall wird die auf die Erdoberfläche ungeschwächt einfallende Sonnenstrahlung teilweise absorbiert und teilweise reflektiert. Der absorbierte Anteil wird in Wärme umgewandelt und muß im Gleichgewichtszustand im infraroten Spektralbereich wieder abgestrahlt werden. Unter diesen Umständen ergibt sich aus einfachen Modellrechnungen an der Erdoberfläche eine mittlere Temperatur von etwa -18°C [Fußnote 1]. Bei Hinzunahme der Atmosphäre wird die an der Erdoberfläche einfallende solare Strahlung nur wenig geschwächt, da die Atmosphäre im sichtbaren Spektralbereich weitgehend durchlässig ist. Im infraroten Spektralbereich dagegen wird die vom Boden emittierte Strahlung nun zu einem großen Teil von der Atmosphäre (insbesondere von Gasen wie H_2O, CO_2, O_3) absorbiert und von dieser - allerdings entsprechend ihrer Temperatur - wieder in alle Richtungen abgestrahlt. Nur in sogenannten Fensterbereichen (insbesondere im großen atmosphärischen Fenster im Wellenlängenbereich von 8 bis 13 μ m) kann die Infrarotstrahlung vom Boden teilweise direkt in den Weltraum entweichen. Die von der Atmosphäre nach unten emittierte Infrarotstrahlung (die sogenannte Gegenstrahlung) erhöht die Energiezufuhr der Erdoberfläche. Ein Gleichgewichtszustand kann sich nur einstellen, wenn die Bodentemperatur sich erhöht und damit durch das Plancksche Gesetz eine erhöhte Abstrahlung möglich wird. Dieser unbestrittene natürliche Treibhauseffekt führt zu einer mittleren Erdoberflächentemperatur von +15°C.

Auf dieser Basis läßt sich auch der anthropogene zusätzliche Treibhauseffekt erklären. Durch die vom Menschen verursachte Konzentrationszunahme der klimarelevanten Spurengase (CO_2, O_3 (Trop.), CH_4, N_2O, FCKW) erniedrigt sich die Durchlässigkeit der Erdatmosphäre

[Fußnote 2]. Das große atmosphärische Fenster wird durch die zusätzliche Absorption in den Flügeln der 15 µ m CO_2-Bande und der 7,63 µ m CH_4- bzw. 7,78 µ m N_2O-Bande enger. Seine Durchlässigkeit nimmt ab, wenn die Absorption in den Banden des Ozons, der FCKW und des CO_2 (10,4 µ m-Bande) innerhalb des Fensters anwächst. Als Folge kann die Erdoberfläche weniger Energie an den Weltraum abgeben (siehe natürlicher Treibhauseffekt) und muß sich, um ein neues Energiegleichgewicht zu erreichen, erwärmen.

Außerhalb der atmosphärischen Fenster emittiert die Atmosphäre selbst infrarote Strahlung. Diese Strahlung kann nur dann direkt in den Weltraum entweichen, wenn zwischen dieser emittierenden Atmosphärenschicht und der Exosphäre nur noch eine gewisse Anzahl der im betrachteten Spektralbereich absorbierenden Moleküle vorhanden ist. Die Menge dieser Moleküle und damit die Höhe der hauptsächlich emittierenden Atmosphärenschicht hängt von der Stärke des Absorptionskoeffizienten im betrachteten Spektralbereich ab. Bei einer Konzentrationszunahme der absorbierenden Gase und damit einer stärkeren Absorption verschiebt sich dieses Emissionsniveau in der Atmosphäre nach oben [Fußnote 3]. In der Troposphäre (ca. 0-10 km Höhe) bedeutet dies wegen der Temperaturabnahme mit der Höhe, daß in dem entsprechenden Spektralbereich zunächst weniger Infrarotstrahlung an den Weltraum abgegeben werden kann und ein Gleichgewichtszustand eine höhere Temperatur der zugehörigen Atmosphärenschicht erfordert; d. h. nicht nur die Erdoberfläche sondern auch die Troposphäre erwärmt sich.

In Spektralbereichen mit besonders starker Absorption der Atmosphäre (z. B. im Zentrum der 15 µ m CO_2-Bande) befindet sich dieses Emissionsniveau bereits in der unteren Stratosphäre. Da in diesem Höhenbereich die Temperatur mit der Höhe wieder zunimmt, kehrt sich die Argumentation um. Wird das Emissionsniveau in eine größere Höhe verschoben, so strahlt die Stratosphäre in diesem Spektralbereich wegen der höheren Temperatur mehr Energie ab und muß sich zwangsläufig abkühlen. Dieser Effekt, der durch Messungen nachgewiesen wurde, ist ein experimenteller Beweis für das richtige Verständnis der Strahlungsprozesse in der Atmosphäre.

Die obigen Aussagen sind durch genaue Berechnungen mit der Strahlungsübertragungsgleichung von verschiedenen Wissenschaftlergruppen im internationalen Rahmen bestätigt worden. Die zugrunde liegende Strahlungsübertragungstheorie ist physikalisches Gemeingut und ist unter allen Fachleuten unumstritten. Die Genauigkeit der Ergebnisse bei der Anwendung der Strahlungsübertragung auf die Atmosphäre hängt heute in erster Linie von der Genauigkeit der Eingabeparameter (z. B. spektroskopische Daten) ab.

Insbesondere die Absorptionsbanden von CO_2 sind in den letzten Jahren im Detail durch Labormessungen untersucht worden, so daß deren spektroskopische Daten uns sehr gut bekannt sind. Aus diesem Grund können die Änderungen der Strahlungsflüsse bei einer Änderung des CO_2-Gehalts der Atmosphäre mit hoher Genauigkeit (im Prozentbereich) berechnet werden. Für die anderen klimarelevanten Spurengase ist die Unsicherheit bei den spektroskopischen Daten zwar größer, aber trotzdem ist die Ungenauigkeit durchweg kleiner als 10 %.

Die Änderung des infraroten Strahlungsflusses ist durch die Konzentrationsänderungen der klimarelevanten Spurengase bei einer äquivalenten CO_2-Verdopplung ca. 4 W/m^2 [Fußnote 4]. "Äquivalente CO_2-Verdopplung" bedeutet, daß der Effekt auf den Strahlungsfluß bei Zunahme verschiedener Spurengase einer Verdoppelung der CO_2-Konzentration entspricht. Die 4 W/m^2 sind im Vergleich zum gesamten infraroten Strahlungsfluß in den Weltraum von

ca. 240 W/m^2 relativ wenig, jedoch reichen sie in einer Atmosphäre ohne Berücksichtigung der Rückkopplungseffekte im Klimasystem für eine Temperaturerhöhung von deutlich mehr als einem Grad aus.

Ein weiteres Argument für die Richtigkeit der obigen Erläuterungen ergibt sich aus der erfolgreichen Nutzung der Fernerkundungsverfahren zur Ableitung atmosphärischer Parameter. Aus Satellitenmessungen im Bereich der CO_2-Banden werden heute z. B. vertikale Temperaturprofile abgeleitet. Es läßt sich zeigen, daß Fehler von 10 % in den Strahldichten die Bestimmung von Temperaturprofilen mit der benötigten Qualität (Fehler kleiner als 2 K) unmöglich machen. Mit der heute vielseitigen Anwendung der Fernerkundung zur Erforschung der Atmosphäre ist deshalb die hohe Qualität der Rechnungen mit der Strahlungsübertragungsgleichung in der Praxis nachgewiesen.

Im folgenden soll nun auf zwei zentrale Behauptungen der sogenannten Klimakritiker eingegangen werden. Viele andere sind bereits durch obige Ausführungen widerlegt. Es wird zum einen behauptet, daß eine Erwärmung der Erdoberfläche durch den anthropogenen zusätzlichen Treibhauseffekt dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik widerspräche, da "Wärme nicht von einem kälteren (d. h. Atmosphäre) zu einem wärmeren Körper (d. h. Erdoberfläche) fließen könne".

Der anthropogene zusätzliche Treibhauseffekt steht aus folgendem Grund in Einklang mit dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik: Für die Erwärmung der Erdoberfläche müssen selbstverständlich alle Strahlungsflüsse, also auch die solaren Strahlungsflüsse der heißen Sonne, berücksichtigt werden. Tagsüber wird die Erdoberfläche durch die solare Strahlung und den infraroten Strahlungsfluß aus der Atmosphäre erwärmt. In der Nacht kühlt sich die wärmere Erdoberfläche beim Strahlungsaustausch mit der kälteren Atmosphäre zwar ab, jedoch wird dies bei einer durch zusätzliche Treibhausgase stärker absorbierenden Atmosphäre langsamer vor sich gehen (prinzipiell derselbe Effekt wie im bewölkten Fall).

Die zweite Behauptung lautet: "Die Absorption in der 15 μ m-Bande ist bereits so stark, daß eine Zunahme der CO_2-Konzentration die Durchlässigkeit der Atmosphäre nicht mehr verändert und damit kein Einfluß zu erwarten ist. Die Veränderung in den Flügeln der CO_2-Bande sei nach Abschätzungen so klein, daß sie keine Rolle spielen könnte".

Die Strahlungsflüsse im Zentrum der CO_2-Bande haben zwar keinen Einfluß auf die troposphärische Erwärmung, aber sie führen bei einer CO_2-Zunahme zu einer stratosphärischen Abkühlung (siehe oben). Bei der Abschätzung des Effekts der Flügel der 15 μ m-CO_2-Banden machen die Klimakritiker gleich mehrere Fehler. Besonders gravierend wirken sich bei der von einem Klimakritiker vorgenommenen Messung die Ungenauigkeit im Flügelbereich der CO_2-Bande und die viel zu geringe spektrale Auflösung aus. Außerdem wurde bei der Übertragung der Labormessungen auf die Atmosphäre diese einfach als homogen angenommen. Die Absorptionsbanden der klimarelevanten Spurengase weisen - mit Ausnahme der FCKW - unter troposphärischen Bedingungen ein Linienspektrum auf, d. h. es gibt viele Mikrofenster zwischen den Linien. In diesen Mikrofenstern wirkt sich die CO_2-Zunahme natürlich auf den infraroten Strahlungsfluß aus.

Die Verengung des atmosphärischen Fensters durch die Zunahme des CO_2 kann durch genaue Strahlungsübertragungsrechnungen einfach nachgewiesen werden. Die Abbildung zeigt ein Transmissionsspektrum für einen vertikalen atmosphärischen Weg in mittleren Breiten im Bereich zwischen 10 μ m und 15 μ m. Bei Transmission 1 kann die an der Erdoberfläche emittierte Strahlung ungehindert in den Weltraum entweichen, hat sie jedoch den Wert 0, so

wird die gesamte Strahlung dieser Wellenlänge innerhalb der Atmosphäre absorbiert. An der Abszisse sind sowohl die Wellenlänge in µ m als auch die Wellenzahl (1/Wellenlänge) in cm^{-1} angegeben. Während im Bereich oberhalb 13 µ m die starke Absorptionsbande des CO_2 erkennbar ist, nimmt die Transmission im Bereich unterhalb 13 µ m Werte zwischen 0,7 und 0,9 an (bedingt durch schwache Absorption verschiedener Spurengase sowie Kontinuumsabsorption). Eine Verdopplung des CO_2-Gehalts in der Atmosphäre von 368 ppmv auf 736 ppmv (gestrichelte Kurve) verändert das Spektrum nur in Bereichen von CO_2-Absorptionsbanden, in denen die Transmission noch nicht zu kleine Werte angenommen hat. Eine Abnahme der Transmission ist demnach im Bereich der Flanke der CO_2-Bande bei 13 µ m und auch im Bereich zwischen 10,1 µ m und 10,8 µ m festzustellen (Nebenbande des CO_2). Im unteren Teil der Abbildung ist die Differenz zwischen den beiden Spektren dargestellt.

Fazit: Es ist wissenschaftlich eindeutig nachgewiesen, daß sich die Strahlungsflüsse im System Erde/Atmosphäre durch die Zunahme der klimarelevanten Spurengase verändern. Ohne Berücksichtigung der Rückkopplung mit dem komplexen Klimasystem würde dies mit Sicherheit zu einer Erwärmung der Erdoberfläche und der Troposphäre führen. Die eigentliche, wissenschaftlich herausfordernde Debatte beschäftigt sich mit der Frage, inwieweit die verschiedenen Rückkopplungsprozesse die strahlungsbedingte Erwärmung verstärken oder dämpfen.